





# UNIDAD 1 TIPOLOGÍA OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE EN VÍAS

Julián Andrés Pulecio-Díaz
Universidad Cooperativa de Colombia
Sede Ibagué

**Documentos de docencia |** Course Work
coursework.ucc.edu.co
No. 6. Nov, 2015
http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1198

## ACERCA DEL AUTOR

**Julián Andrés Pulecio-Díaz** es magíster en construcción de obras viales y profesor auxiliar del programa de Ingeniería Civil, Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué. Correo-e: julian.puleciod@campusucc.edu.co

## CÓMO CITAR ESTE DOCUMENTO

Pulecio-Díaz, J. A. (2015). Unidad 1. Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías. (Documento de docencia No. 6). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. doi: http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1198

# RESUMEN

La presente guía práctica "Avance de notas de clase drenaje vial" se concibió como un texto en constante desarrollo que se caracterizará por ser un derrotero de los fundamentos necesarios para analizar, diseñar y construir proyectos de drenaje para vías rurales. La guía se plantea estudiar las distintas obras de drenaje que componen una vía, desde la concepción de la hidrología y la hidráulica vial. Además, se esboza la necesidad de generar procedimientos constructivos eficientes con el ánimo de garantizar la calidad en la construcción fundamentada en los ensayos de laboratorio, in situ, y especificaciones de construcción.



**Palabras clave:** Drenajes, hidráulica vial, hidrología, procedimientos constructivos, subdrenajes.

# TABLA DE CONTENIDO

## ÍNDICE DE FIGURAS DE LA GUÍA

# INTRODUCCIÓN

El *drenaje vial* es la fuente del estudio para mantener la vida útil de las estructuras que componen las obras viales, como los pavimentos, puentes, túneles y taludes, entre otros. A lo largo de las presentes notas de clase se identificarán las distintas obras de drenaje, así: en la unidad I se abarcará la tipología de las obras de drenaje y subdrenaje en vías; la unidad II comprende el planeamiento de un sistema de drenaje vial, de acuerdo con sus distintas etapas: consideraciones generales y específicas, estudios preliminares y definitivos; en la unidad III "estudios hidrológicos", se estudian las múltiples variables para determinar el caudal máximo de diseño, también conocido como *caudal de creciente*, que caracteriza cada obra de drenaje. El dimensionamiento hidráulico será presentado en la unidad IV, en la que se estudiará el diseño hidráulico de alcantarillas, *box-culvert*, disipadores de energía y cunetas. Por último, en la unidad V se presentará la introducción a los procedimientos constructivos, recalcando la importancia de unir la práctica con la teoría, que se justifica en las distintas etapas constructivas de las obras de drenaje vial.

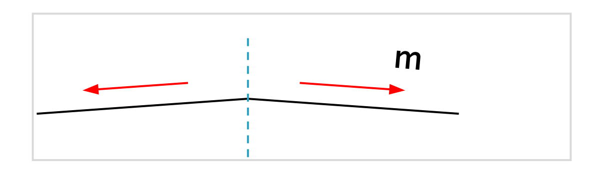
**Prefacio (propósito y alcances):** presentar los diferentes sistemas de drenaje utilizados con frecuencia en las vías rurales del país.

# 1. OBRAS DE DRENAJE

Las obras de drenaje están diseñadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado [1]. A continuación se describen los diferentes sistemas de drenaje con ejemplos ilustrativos aplicados en el ejercicio profesional e incluyendo las variables geométricas que alimentan el diseño y la construcción.

## 1.1. BOMBEO

Es una pendiente transversal en las entretangencias horizontales de la vía, planteada en el diseño geométrico para direccionar las aguas de escorrentía provenientes de la precipitación. Está pendiente ayuda a eliminar o reducir el hidroplaneo que se presenta como consecuencia de un inadecuado control de las aguas superficiales sobre la rasante de una vía.



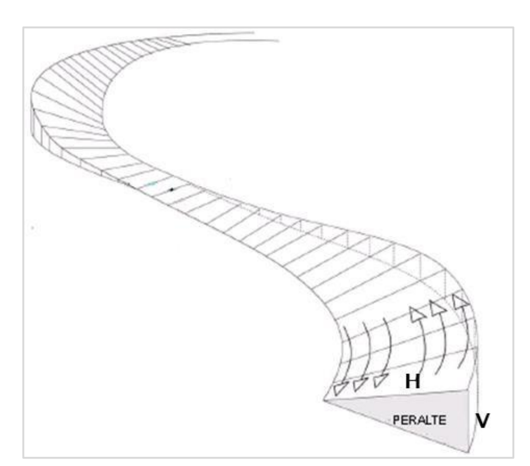

m = porcentaje de bombeo
Criterio Invías: m = V/H

2 <m< 4% bombeo

**Figura 1.** Sección transversal de vía
Fuente: elaboración propia

## 1.2. PERALTE

Esta característica también está definida en el diseño geométrico. El peralte se caracteriza por ser una inclinación dada al perfil transversal de una carretera en los tramos en curva horizontal para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento. Al igual que el bombeo, también contribuye al escurrimiento del agua lluvia.




e = porcentaje de peralte
Criterio Invías: e = V/H
e ≦ 8% en peraltes de vías principales y secundarias
e ≦ 6% en vías terciarias

**Figura 2.** Vista tridimensional de vía peraltada
Fuente: elaboración propia

## 1.3. CUNETAS

Las cunetas son zanjas —con o sin revestimiento— construidas paralelamente a las bermas y están diseñadas para facilitar el drenaje superficial longitudinal de la carretera. Su geometría puede variar según las condiciones de la vía y del área que drenan [1].

En el *Manual de drenaje para carreteras* (2009), el Instituto de Nacional de Vías (Invías) recomienda las secciones transversales parabólicas, triangulares y otras secciones que analizaremos en seguida.

### 1.3.1. Secciones transversales parabólicas.

Se caracterizan por ser secciones transversales constructivamente complejas y de baja capacidad hidráulica. Este tipo de sección es la más adecuada en aquellos tramos viales en los que se presenta entrada y salida permanente de vehículos, como por ejemplo estaciones de servicio, locales comerciales, etc.

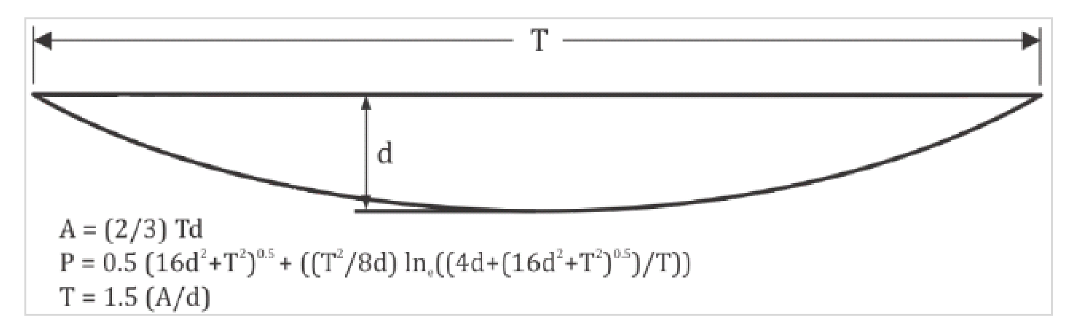



**Figura 3.** Sección parabólica típica con variables geométricas
Fuente: [2]



**Figura 4.** Vista real de sección parabólica revestida con prefabricados de concreto hidráulico
Fuente: [3]



**Figura 5.** Vista real de sección parabólica revestida en césped natural
Fuente: [4]

### 1.3.2. Secciones transversales triangulares.

Son las secciones transversales más sencillas de construir. Se construyen donde la circulación vial es esporádica o nula, y es la más común en el medio ingenieril debido a que cumple con las recomendaciones mínimas de seguridad vial.

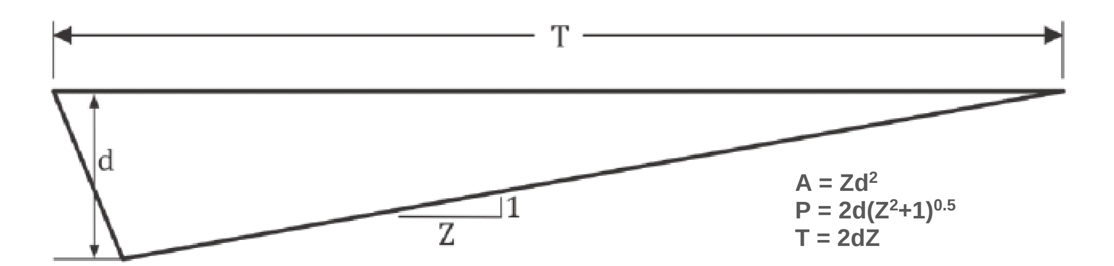



**Figura 6.** Sección triangular típica con variables geométricas
Fuente: [2]



**Figura 7.** Vista real de sección triangular revestida en concreto hidráulico
Fuente: elaboración propia

### 1.3.3. Otras secciones transversales.

Las secciones rectangulares o trapezoidales son útiles para transportar mayor volumen de agua. Las figuras 8 a 11 muestran diagramas de las secciones típicas y fotografías de diferentes obras de drenaje. Estas secciones, por ser profundas o con taludes altos, hacen infranqueables o dificultan en gran manera la salida de vehículos, por lo que, en caso de ser empleadas, deben estar acompañadas de barreras de seguridad, bordillos o guardarruedas [2] (ver figuras 12 y 13).

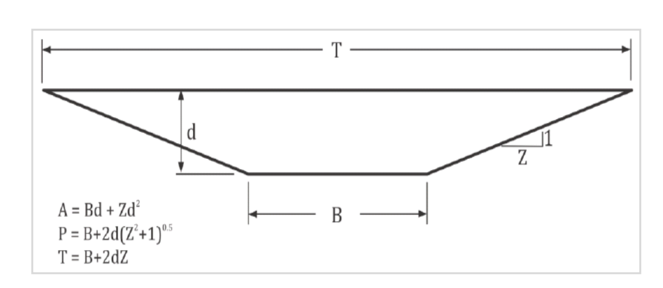



**Figura 8.** Sección trapezoidal típica con variables geométricas
Fuente: [2]



**Figura 9.** Vista real de sección trapezoidal revestida en concreto hidráulico
Fuente: [5]

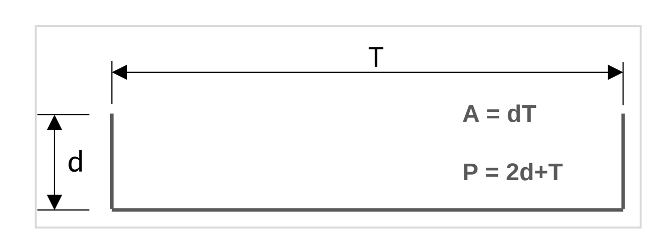
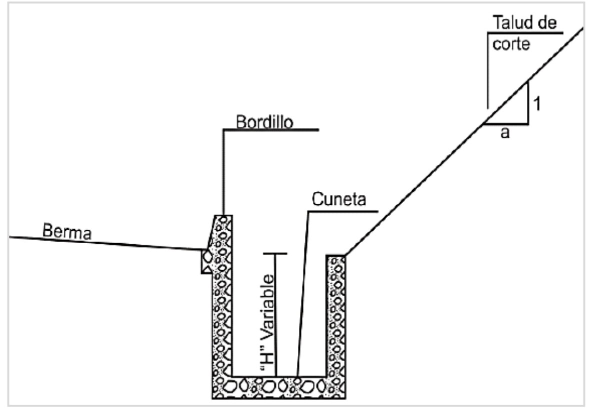



**Figura 10.** Sección rectangular típica con variables geométricas
Fuente: [2]



**Figura 11.** Vista real de sección rectangular revestida en concreto hidráulico
Fuente: [6]



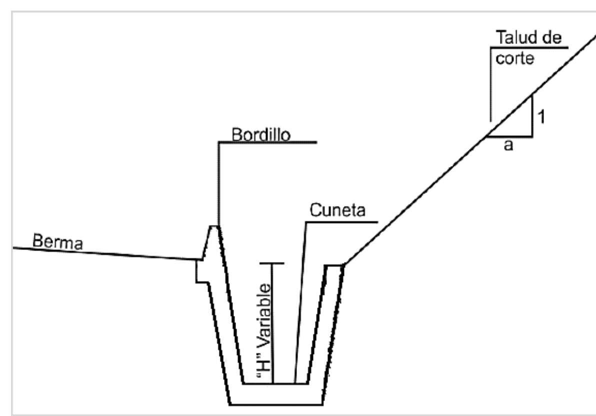




**Figura 12.** Bordillos de seguridad en cunetas
Fuente: [2]

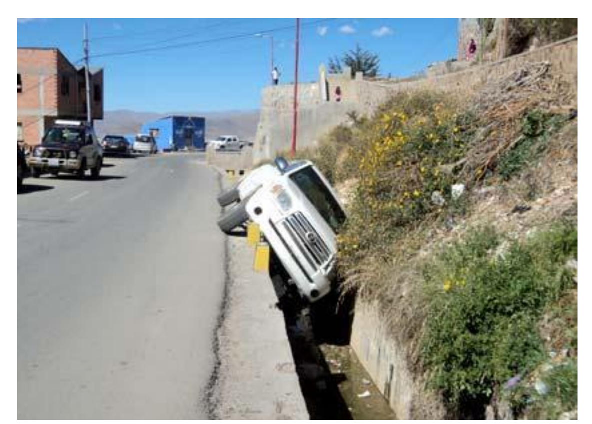


**Figura 13.** Accidente de vehículo por ausencia de bordillo de seguridad en cuneta rectangular
Fuente: [7]

## 1.4. DESCOLE DE CUNETAS

Elementos y revestimientos hidráulicos que ayudan a entregar o intersectar el flujo de agua a corrientes naturales o estructuras hidráulicas como pocetas, protecciones y bajantes.

### 1.4.1. Pocetas.

También son conocidas como cajas colectoras. Por lo general estas estructuras se ubican a la entrada de una alcantarilla transversal (encole). Para su dimensionamiento es necesario considerar las medidas y la profundidad de la tubería de la alcantarilla, la profundidad del filtro entrante o el tamaño de la estructura de encole y la facilidad de mantenimiento de la obra [2].

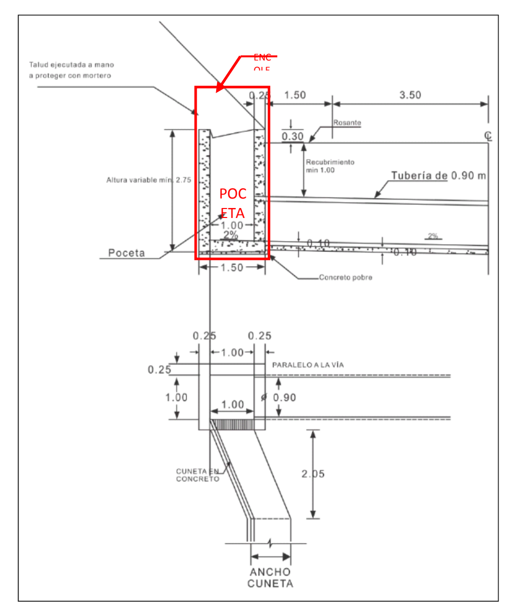



**Figura 14.** Poceta (caja colectora) típica
Fuente: [2]




**Figura 15.** Vista real de filtro entrante
Fuente: [8]

### 1.4.2. Protecciones.

Cuando no es posible desaguar la cuneta en una corriente, el flujo que viene concentrado por la cuneta se debe distribuir y entregar de manera gradual al terreno natural mediante superficies como empedrados o rip-rap [2].



**Figura 16.** Vista real de empedrados ó rip-rap en talud de terraplén
Fuente: [9]



**Figura 17.** Vista real de empedrados o rip-rap direccionando el flujo de agua a fuente natural
Fuente: [10]

### 1.4.3. Bajantes.

También son conocidos como *aliviaderos*. Son estructuras que recogen las aguas de las zanjas de coronación que no se pueden entregar a corrientes naturales o de cunetas de terraplén (en este caso también recibe el nombre de *lavadero*) y las conducen hacia la parte inferior del talud. Su diseño se realiza como el de una rápida lisa o escalonada y, por lo general, requiere una obra de disipación de energía [2].

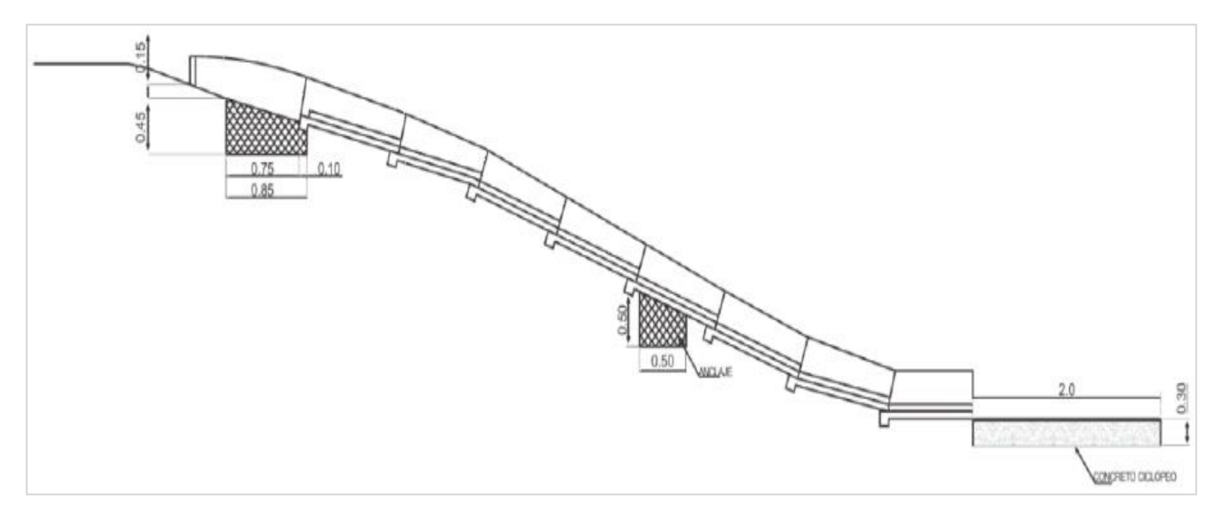



**Figura 18.** Bajante o alivio típico sobre talud
Fuente: [2]

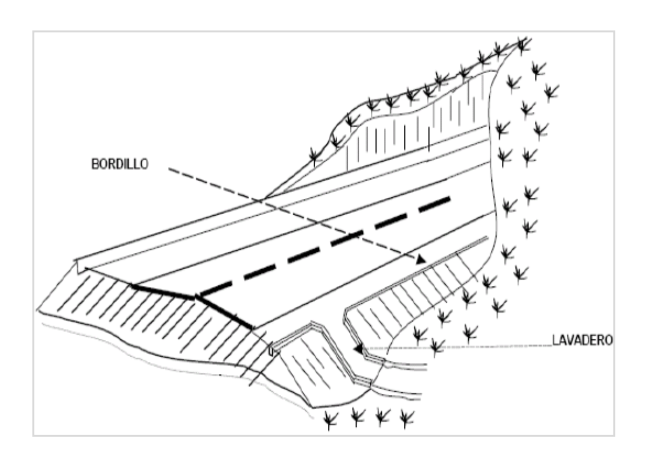



**Figura 19.** Ubicación de lavadero sobre talud de terraplén
Fuente: elaboración propia



**Figura 20.** Vista real de lavadero con prefabricados de concreto hidráulico sobre talud de terraplén
Fuente: elaboración propia

## 1.5. ZANJAS DE CORONACIÓN

También son conocidas como *contracunetas*. Las zanjas de coronación son canales que se construyen en la parte superior de los taludes de corte, con el objetivo de recoger las aguas que bajan por las pendientes naturales y conducirlas hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje.

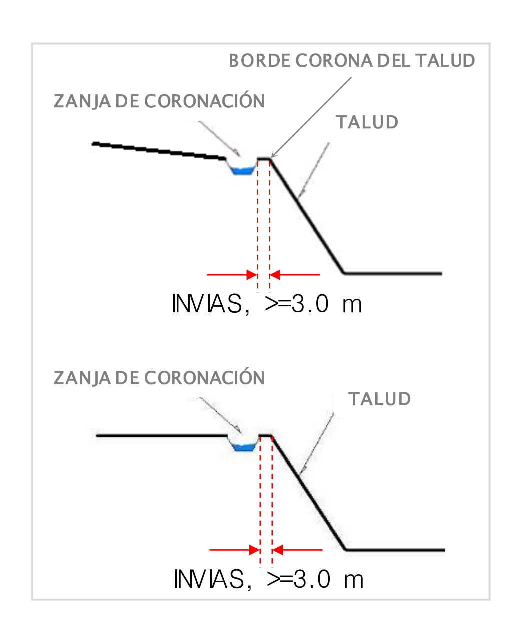



**Figura 21.** Ubicación recomendada de zanja de coronación
Fuente: elaboración propia

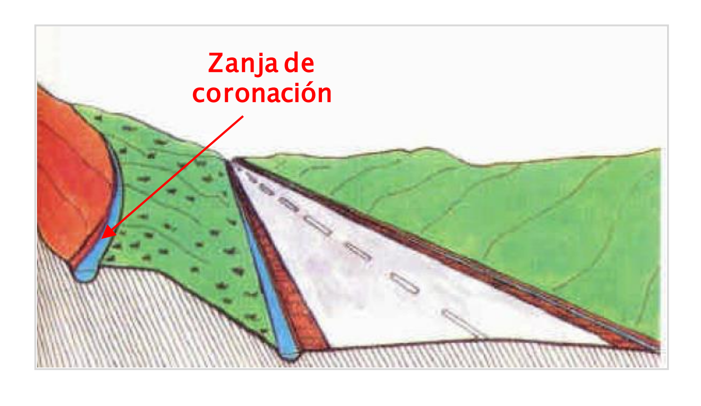



**Figura 22.** Ubicación de zanja de coronación sobre talud de vía
Fuente: elaboración propia

El *Manual de drenaje para carreteras* del Invías (2009) recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas para evitar infiltraciones que puedan afectar el talud de la vía y que la impermeabilización se complemente con un correcto mantenimiento en el que, al menos cada dos años, se reparen las fisuras y las grietas que se presenten.
Para pendientes mayores, las zanjas de coronación deben ser escalonadas (canal de rápida escalonada) con emboquillado de piedra bajo la caída (ver figuras 23 y 24).




**Figura 23.** Ubicación de zanja de coronación escalonada
Fuente: [11]

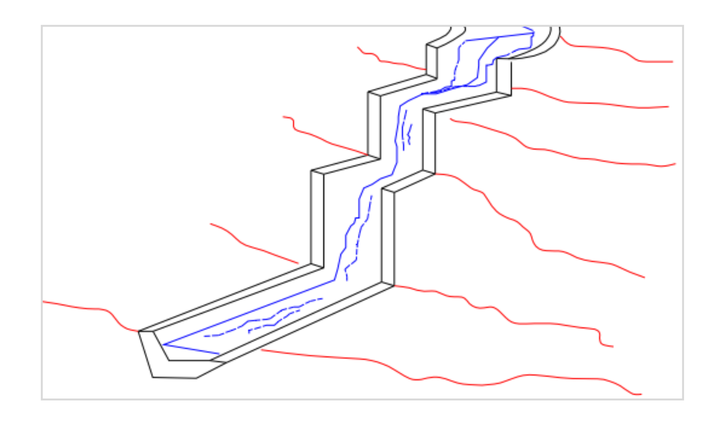


**Figura 24.** Detalle de zanja de coronación escalonada
Fuente: elaboración propia

## 1.6. ZANJAS DE DRENAJE

También llamadas *zanja en el pie*, o *base del talud de terraplén*, son canales que se construyen en la parte inferior de los taludes de relleno (terraplén) en forma longitudinal lateral o transversal al alineamiento de la carretera, con el objetivo de recoger las aguas que bajan por el talud y los terrenos adyacentes para conducirlas hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje. Por lo general son rectangulares, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere una mayor dimensión.

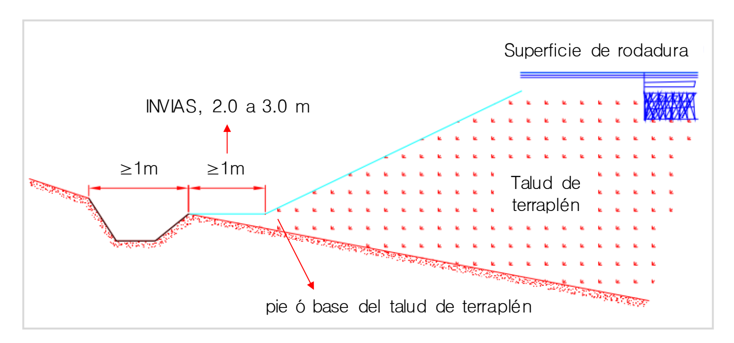



**Figura 25.** Ubicación recomendada de zanja de drenaje
Fuente: elaboración propia

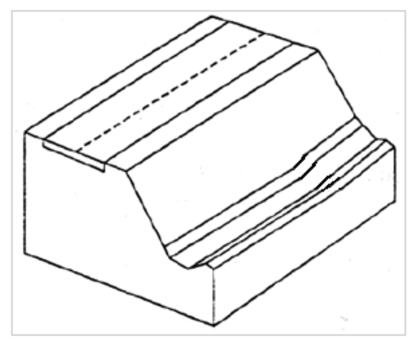


**Figura 26.** Ubicación de zanja drenaje
Fuente: [8]

## 1.7. CUNETAS DE BANQUETA

Son aquellas que se ubican al pie del talud inclinado de cada banqueta y consisten en la construcción de una o más terrazas sucesivas con el objetivo de estabilizar un talud. Pueden tener sección triangular, rectangular o trapezoidal y su descarga se efectuará hacia un curso natural o mediante caídas escalonadas (canal de rápida escalonada) hacia las cunetas.

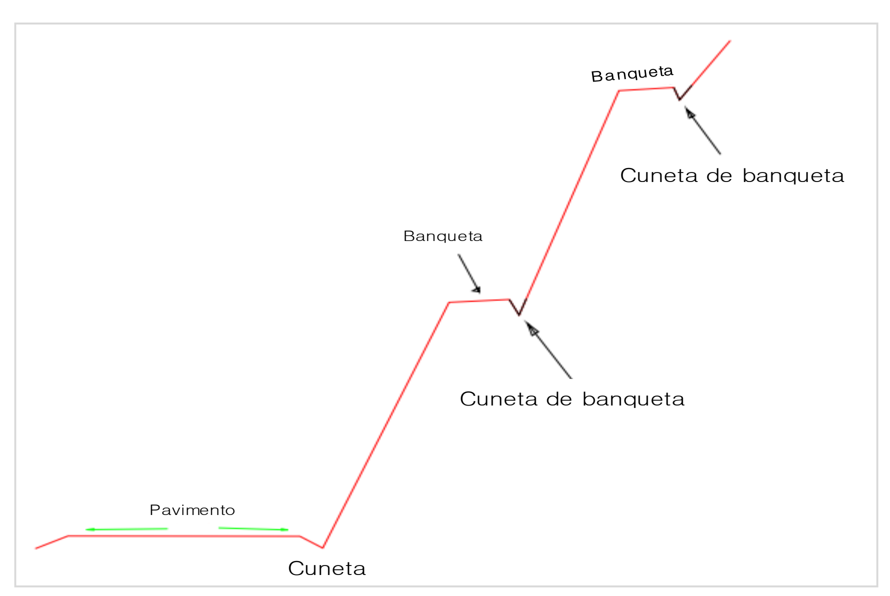



**Figura 27.** Ubicación recomendada de cuneta de banqueta
Fuente: elaboración propia

## 1.8. BORDILLOS

Son elementos que interceptan y conducen el agua que, por efecto del bombeo, discurren sobre la plataforma de la carretera, descargándola mediante aliviaderos (bajante o comúnmente conocidos como lavadero) en sitios adecuados con el objetivo de evitar la erosión de los taludes de terraplenes que estén conformados por material erosionable.

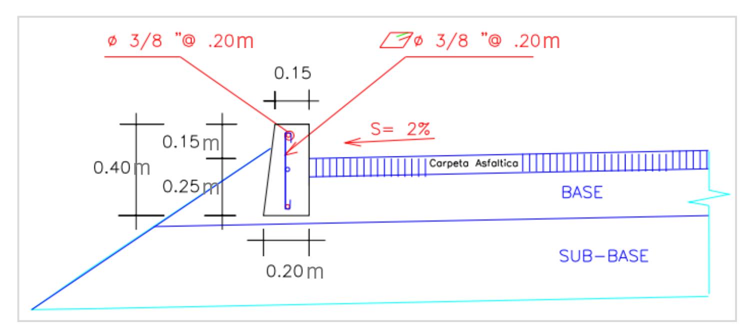



**Figura 28.** Detalle típico y refuerzo estructural sugerido para bordillo de concreto hidráulico reforzado
Fuente: elaboración propia



**Figura 29.** Vista real de etapa de construcción de bordillo
Fuente: [12]

## 1.9. VEGETACIÓN

Una de las maneras más efectivas de proteger los taludes de un corte, terraplén o del terreno natural contra la acción erosiva del agua superficial es la plantación de especies vegetales. Estas especies vegetales retardan el escurrimiento disminuyendo la velocidad del agua y contribuyen a fomentar una condición de equilibrio en los suelos respecto al contenido de agua.

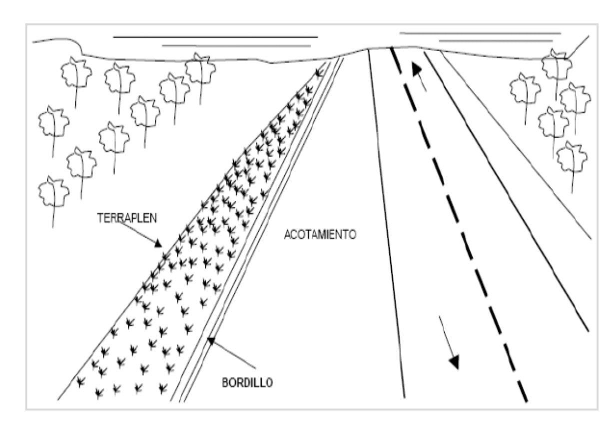



**Figura 30.** Vista ubicación vegetación en vía
Fuente: elaboración propia



**Figura 31.** Vista real de protección con vegetación en vía
Fuente: elaboración propia

## 1.10. ZAMPEADOS

Son un sistema de protección contra la erosión para la superficie de rodamiento o cunetas en zonas con pendientes fuertes. Se realza con piedra, concreto hidráulico ciclópeo o concreto hidráulico simple.



**Figura 32.** Vista real de zampeado con piedra
Fuente: [6]



**Figura 33.** Vista real de zampeado en concreto hidráulico ciclópeo
Fuente: [13]



**Figura 34.** Vista real de zampeado en concreto hidráulico simple
Fuente: [14]

## 1.11. ALCANTARILLAS

Una alcantarilla es un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro. Incluye conductos con cualquier sección geométrica, en especial conductos circulares y alcantarillas de cajón [2].

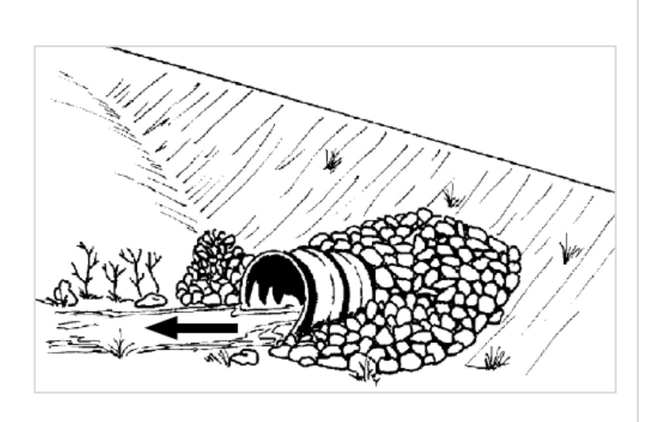


**Figura 35.** Perspectiva de una alcantarilla circular corrugada de metal proyectada fuera del talud de terraplén
Fuente: [6]

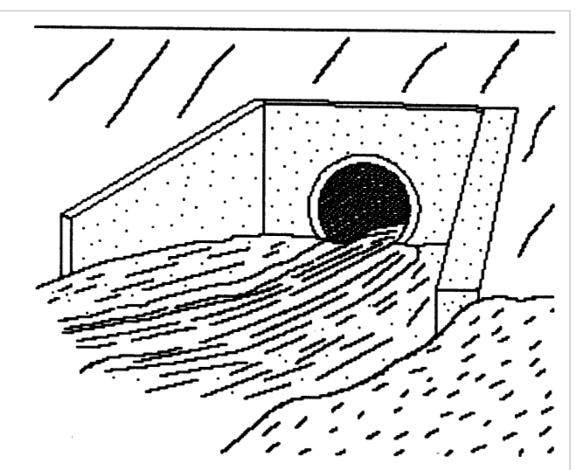


**Figura 36.** Perspectiva de una alcantarilla circular corrugada de metal o concreto hidráulico con muro de cabecera y ala
Fuente: [6]

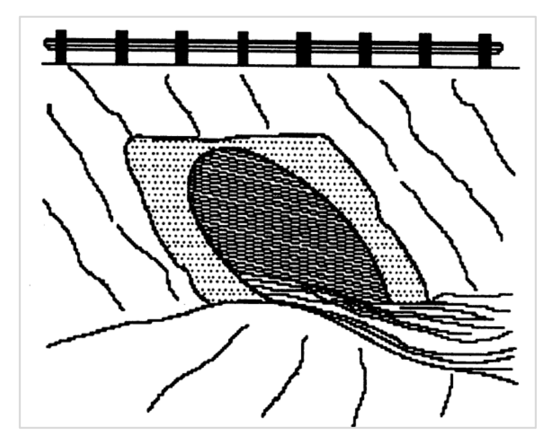


**Figura 37.** Perspectiva de alcantarilla recortada a la forma del talud de terraplén
Fuente: [6]

**Figura 38.** Perspectiva de una alcantarilla de cajón (*box-culvert*) de concreto hidráulico reforzado
Fuente: [6]

## 1.12. DISIPADOR DE ENERGÍA

Son estructuras hidráulicas diseñadas para transportar un caudal de una cota superior a una inferior manteniendo la velocidad (energía cinética) dentro de los límites admisibles, con el fin de evitar la ocurrencia de procesos erosivos tanto en la caída como en el cauce receptor y la posible falla de la estructura misma [15]. Por lo general estas estructuras se deben utilizar en los descoles de las alcantarillas (ver figura 39) o en cualquier otro sitio donde la evacuación de aguas pueda producir socavación debido a la alta velocidad del agua (energía cinética) [15].

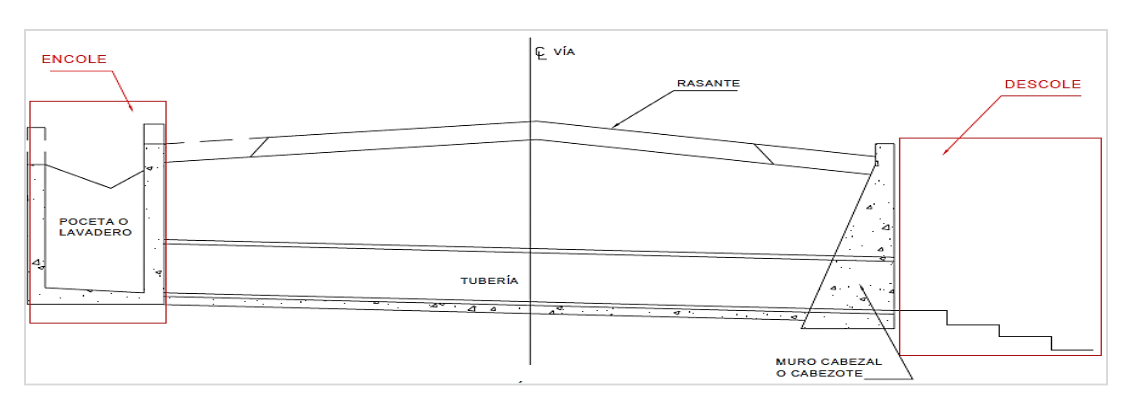



**Figura 39.** Sección vial con sistema de alcantarillado con encole y descole
Fuente: [16]

A continuación se presentan diferentes disipadores utilizados con frecuencia a nivel nacional.

### 1.12.1. Canal de rápida lisa.

Se construye con una pendiente igual a la del talud. Este sistema es muy utilizado por ser más económico, pero presenta el problema de la poca energía disipada. Normalmente el flujo es supercrítico IF>1 [2].



**Figura 40.** Vista real de canal de rápida lisa revestida en concreto hidráulico
Fuente: [16]

### 1.12.2. Canal de rápida escalonada.

Para las características topográficas del país, con altas pendientes, se requieren estructuras de caída escalonadas con flujo rasante, las cuales han sido analizadas para pendientes entre 5,7° y 55° [2].



**Figura 41.** Vista real de canal de rápida escalonada revestida en concreto hidráulico
Fuente: [16]

### 1.12.3. Canal de pantallas deflectoras (CPD).

Se trata de estructuras de vertimiento de fondo liso que incluyen a cada cierta distancia una serie de elementos disipadores de energía del flujo, es decir que la energía se disipa a lo largo del canal y no al final como sucede con las rápidas lisas. El canal de pantallas deflectoras (CPD) es aplicable para pendientes entre el 10% y el 50% de inclinación [2].

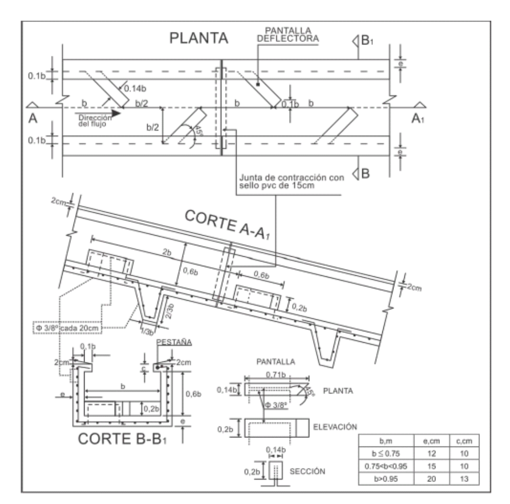



**Figura 42.** Detalle típico y refuerzo estructural sugerido para el CPD original
Fuente: [2]



**Figura 43.** Vista real de CPD original
Fuente: [17]

### 1.12.4. Canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC).

La energía con este tipo de disipador, al igual que el CPD, se disipa a lo largo del canal y no al final como sucede con las rápidas lisas. El canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC) es aplicable para pendientes mayores al 50% de inclinación [2].

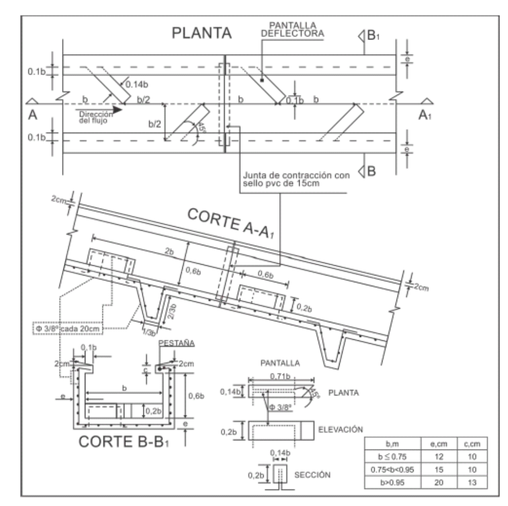



**Figura 44.** Detalle típico y refuerzo estructural sugerido para el CRTC
Fuente: [2]



**Figura 45.** Vista real de CRTC
Fuente: [17]

# 2. OBRAS DE SUBDRENAJE

Son obras proyectadas para eliminar el exceso de agua del suelo con el fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera, lo cual se consigue interceptando los flujos subterráneos y haciendo descender el nivel freático [1]. A continuación se describen diferentes sistemas de subdrenaje, con ejemplos ilustrativos aplicados en la práctica profesional.

## 2.1. DREN TRADICIONAL

También llamado *dren francés*, son subdrenajes laterales para carreteras. Estos drenes son adecuados cuando la única pendiente disponible en la vía es el bombeo o los peraltes, o cuando la pendiente longitudinal es menor o igual a la pendiente transversal (bombeo o peralte). El caso límite para usar drenajes laterales es cuando dichas pendientes se igualan, por lo tanto el agua corre formando un ángulo de 45º con el eje. El dren tradicional está conformado por una grava seleccionada envuelta en geotextil, con o sin la inclusión de un tubo perforado.

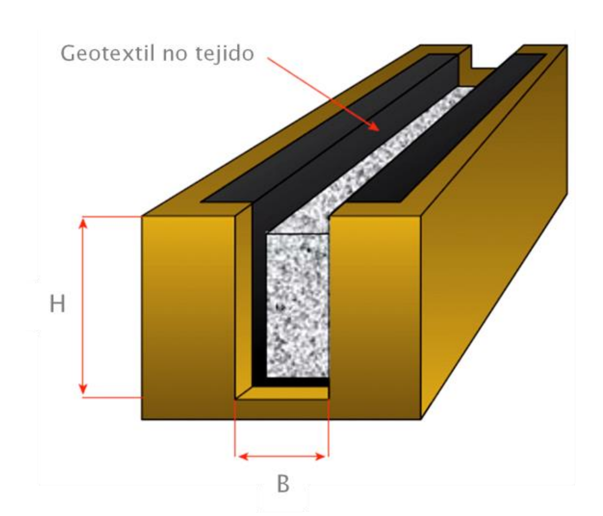



**Figura 46.** Detalle de dren tradicional sin tubo perforado
Fuente: [18]

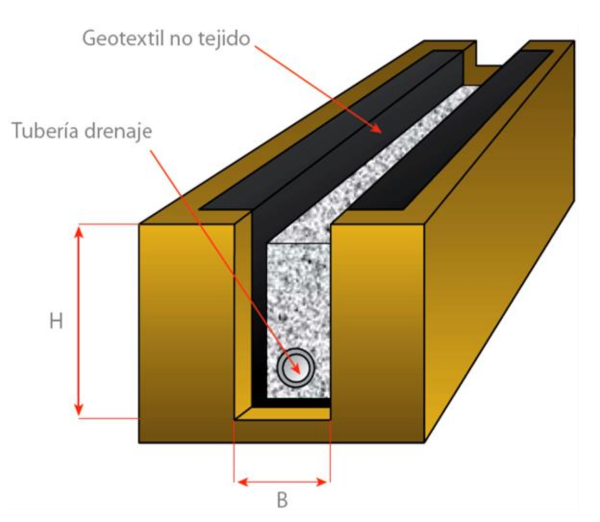



**Figura 47.** Detalle dren tradicional con tubo perforado
Fuente: [18]



**Figura 48.** Vista real de etapa de construcción de dren tradicional con tubo perforado.
Fuente: [18]

A continuación se presenta cómo es el funcionamiento de un dren tradicional con tubo perforado, para un caso determinado.

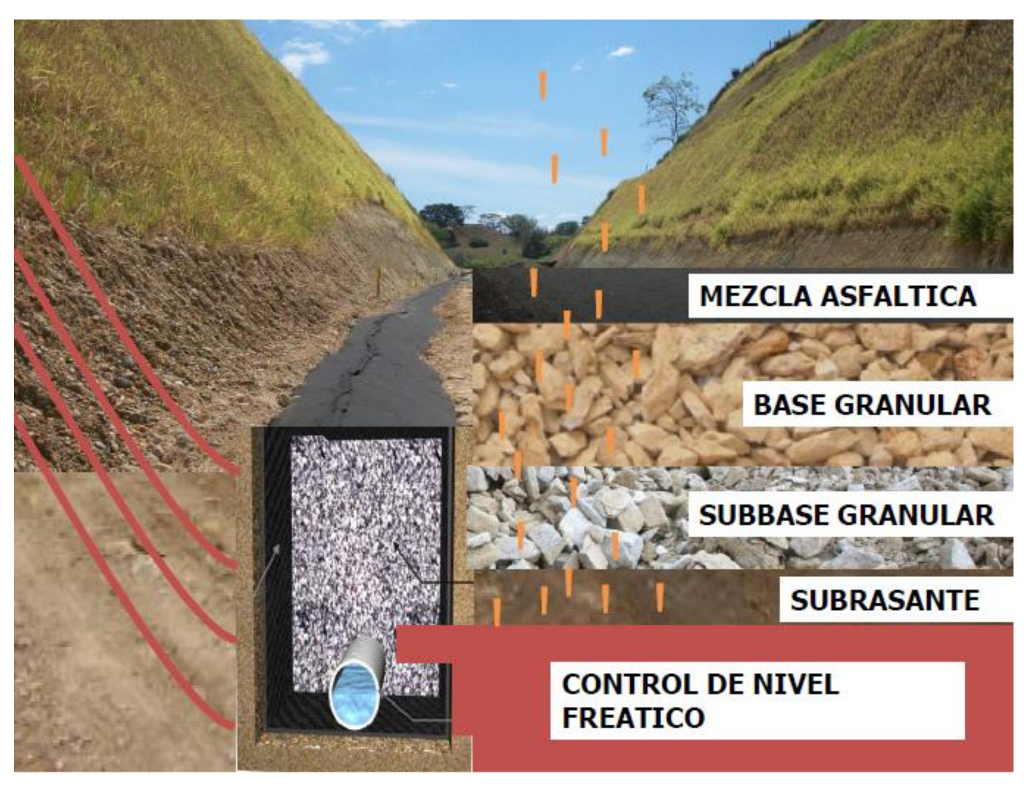



**Figura 49.** Vista real de etapa de construcción de dren tradicional con tubo perforado
Fuente: [19]

## 2.2. GEODRÉN VIAL

El nombre de esta estructura hidráulica proviene de la empresa Pavco, y también es promocionada como Drenamax con tubería por Syntex Geosynthetics. Este dren es una alternativa al sistema de drenaje tradicional y está conformado por un geodrén planar, una tubería corrugada de drenaje y grava seleccionada.

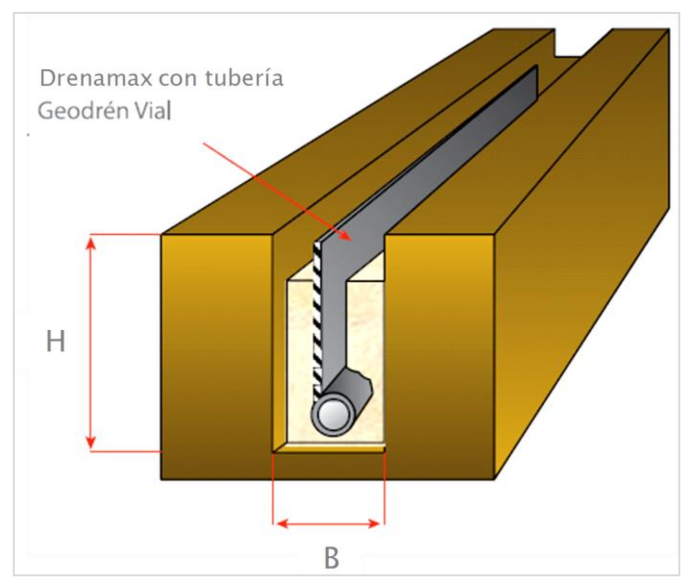



**Figura 50.** Detalle geodrén vial
Fuente: [18, 19]

El geodren vial se puede instalar en contacto directo con una de las paredes de la excavación, dependiendo de la dirección del flujo.



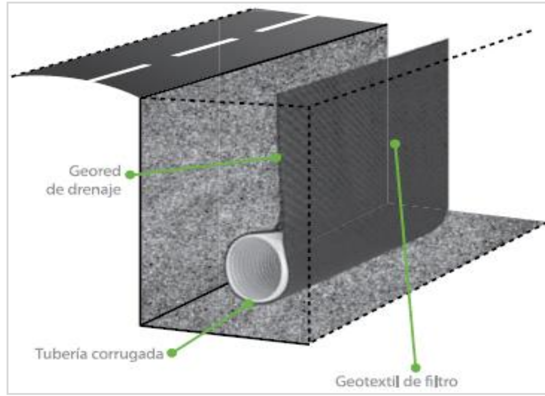



**Figura 51.** Ejemplo 1 ubicación de geodrén vial
Fuente: elaboración propia con base en Pavco Geosistemas y Syntex Geosynthetics

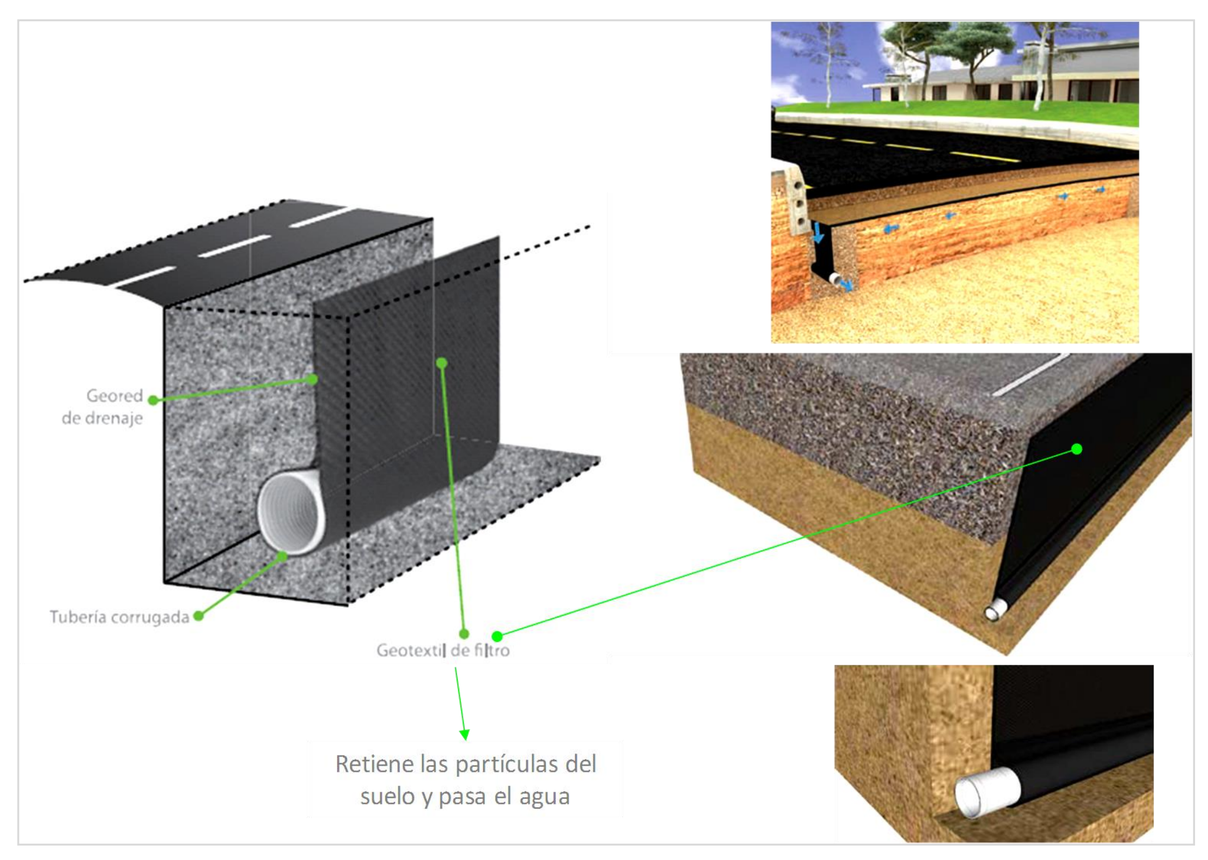



**Figura 52.** Ejemplo 2: ubicación de geodrén vial
Fuente: elaboración propia con base en Pavco Geosistemas

# 3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Identifique y nombre las obras de drenaje y subdrenaje presentes en la siguiente figura:

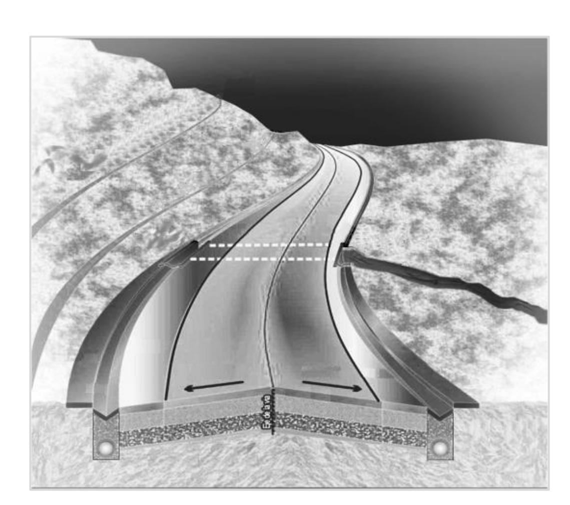


**Figura 53.** Sección típica con sistemas de drenaje y subdrenaje
Fuente: elaboración propia

***Solución:***

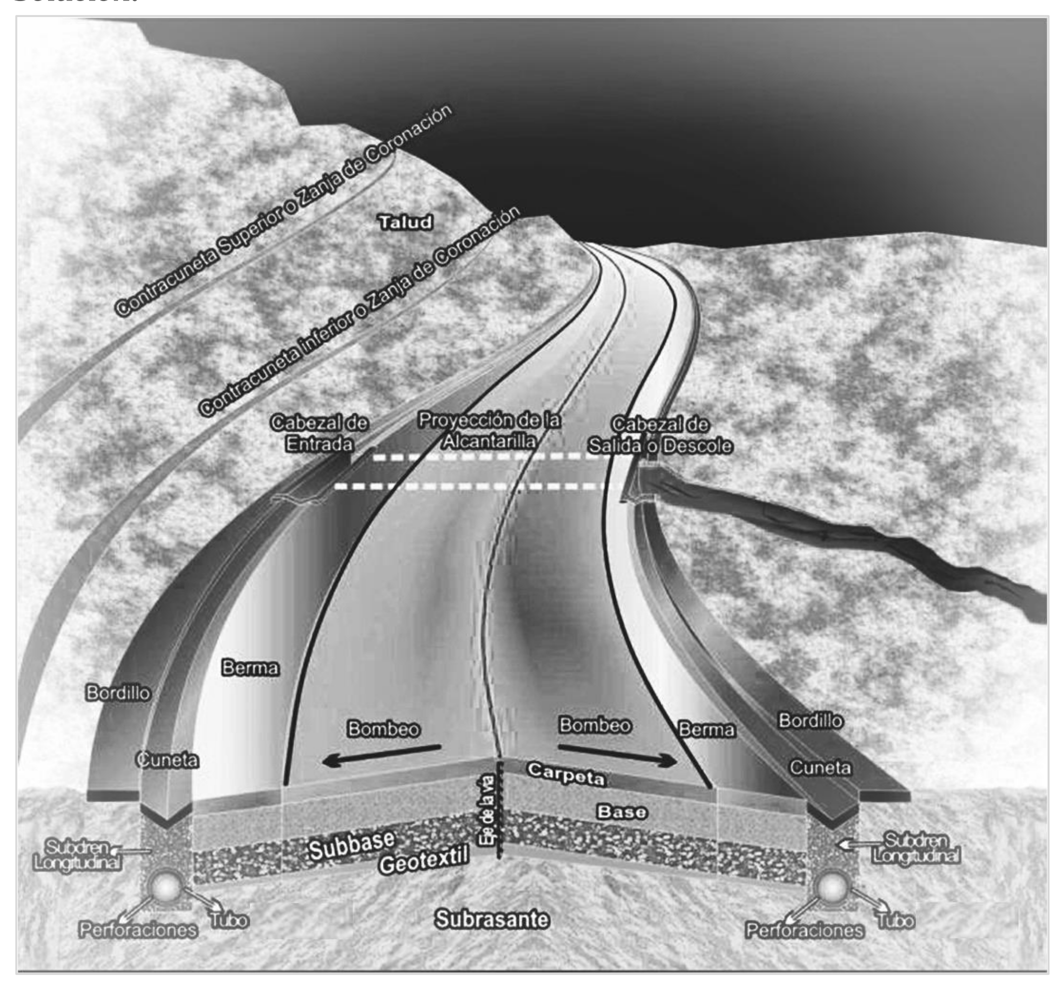



**Figura 54.** Solución sección típica con sistemas de drenaje y subdrenaje
Fuente: elaboración propia

# 4. TALLER DE APLICACIÓN

a) Investigar los esquemas típicos de las siguientes obras de drenaje: vados y puentes.
b) Investigar los esquemas típicos de las siguientes obras de subdrenaje: dren chimenea, geodrén planar, colchón drenante y geodrén triplanar.
c) ¿Qué tipo de obras de drenaje cree usted necesarias para disminuir las patologías y situaciones adversas al diseño de pavimento de los siguientes escenarios? Responder por aparte cada escenario.

*Escenario 1:*



**Figura 55.** Calzada fracturada en el borde de una vía por humedad
Fuente: [20]

*Escenario 2:*



**Figura 56.** Vía destruida por el agua subterránea.
Fuente: [18]

*Escenario 3:*



**Figura 57.** Afirmado de vía destruido en el borde por causa del agua superficial.
Fuente: [6]

# REFERENCIAS

[1] Invías, *Manual de diseño geométrico de carreteras*, Bogotá D.C.: Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías, 2008a.

[2] Invías, *Manual de drenaje para carreteras*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías, 2009.

[3] Legado, *Cuneta sección parabólica*. [En línea]. Disponible en: http://legado.inea.org/web/materiales/web/riego/temas/tema10/tema10.htm. Último acceso: enero 7, 2015.

[4] Drenaje urbano sostenible, *Cuneta sección parabólica*. [En línea]. Disponible en: http://drenajeurbanosostenible.org/category/cunetas-verdes-2/. Último acceso: enero 7, 2015.

[5] Geoinstrumentsac, *Cuneta sección trapezoidal*. [En línea]. Disponible en: http://www.geoinstrumentsac.com/servicios/hidraulica_hidrogeologia_recursos_hidricos_saneamiento. Último acceso: enero 7, 2015.

[6] G. Keller y J. Sherar, *Ingeniería de caminos con bajos volúmenes*. Virginia, EE. UU.: US Agencia para el Desarrollo Internacional (Usaid), 2003.

[7] Lapatriaenlinea, *Accidente de vehículo*. [En línea]. Disponible en: http://www.lapatriaenlinea.com/?nota=106475. Último acceso: enero 7, 2015.

[8] Invías, *Manual para inspección de obras de drenaje*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías, 2006.

[9] Estormwater, *Empedrados*. [En línea]. Disponible en: http://www.estormwater.com/dots-use-ditch-system-repair-outfalls-slope-failures. Último acceso: enero 7, 2015.

[10] Elitehomesteadsinc, *Empedredados*. [En línea]. Disponible en: http://elitehomesteadsinc.com/?page_id=33. Último acceso: enero 7, 2015.

[11] Doblevia, *Zanja de coronación escalonada*. [En línea]. Disponible en: https://doblevia.wordpress.com/. Último acceso: enero 7, 2015.

[12] Cuerpo de ingenieros del ejército, *Construcción de bordillo*. [En línea]. Disponible en: http://www.cuerpodeingenierosdelejercito.mil.ec/9-sin-categoria.html?start=25. Último acceso: enero 7, 2015.

[13] Obras en mi ciudad, *Zampeado en concreto hidráulico ciclópeo*. [En línea]. Disponible en: http://www.obrasenmiciudad.df.gob.mx/?p=8893. Último acceso: enero 7, 2015.

[14] Transcaribe trading, *Zampeado en concreto hidráulico simple*. [En línea]. Disponible en: http://transcaribetrading.net/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=14&Itemid=46. Último acceso: enero 7, 2015.

[15] G. Gavilán, *Manual de diseño de drenajes superficiales y subsuperficiales en vías*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001.

[16] Invías, *Manual para inspección de obras de drenaje*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías, 2006.

[17] F. Mejía, *Estructuras de vertimiento de aguas en laderas de media a fuerte pendiente canal de pantallas deflectoras (CPD) y canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC)*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2010.

[18] Pavco Geosistemas. Sistemas de drenaje. Bogotá D.C.: Pavco, 2010.

[19] Syntex Geosynthetics. Sistemas de drenaje. Bogotá D.C.: Syntex Geosynthetics, 2014.

[20] Invías, *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías, 2008b.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

B. Díaz, *Drenaje pluvial hidrología e hidráulica*, Bogotá D. C.: Universidad Santo Tomas, 2009.

R. Lemos y A. Rodrigo, *Drenaje vial superficial y subterráneo*. Popayán: Universidad del Cauca, 1999.

Secretaría de Obras Públicas de Antioquia, Dirección de Estudio y Diseño, *Obras de drenaje y protección para carreteras*, 5ª ed. Antioquia: Secretaría de Obras Públicas de Antioquia, 2006.

Secretaría Técnica Dirección de Carreteras, *Puentes de placa y viga: concreto reforzado, concreto pre-esforzado, alcantarillas de cajón*, Bogotá D. C.: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1988.